

Génération de maillages pour la création de modèles biomécaniques du cerveau



V. d'Otreppe, R. Boman, J.P. Ponthot
Département d'Aérospatiale et Mécanique (LTAS-MN²L) – Université de Liège



Introduction

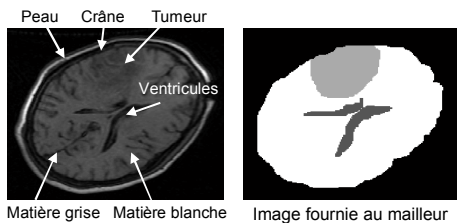
Les systèmes d'imagerie médicale fournissent généralement un ensemble de coupes bidimensionnelles. Ces images, cruciales pour le diagnostic, sont mal adaptées pour la résolution directe des problèmes de biomécanique, comme par exemple la modélisation des déformations du cerveau induites par une intervention neurochirurgicale. Pour ces problèmes, il est nécessaire d'obtenir une représentation tridimensionnelle des géométries anatomiques sous forme d'un maillage éléments finis. La méthode présentée permet de générer des maillages éléments finis surfaciques de haute qualité et de bonne fidélité géométrique au départ d'images médicales segmentées.

Objectifs

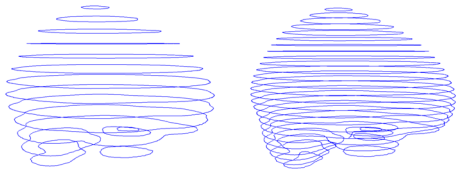
- Maillage généré directement au départ d'images médicales
- Bonne approximation géométrique
- Maillage éléments finis de bonne qualité
- Maillage simultané de différents domaines, avec un maillage compatible de toutes les faces.

Traitement de l'image

- Segmentation manuelle de l'image médicale** afin de délimiter les domaines d'intérêts.

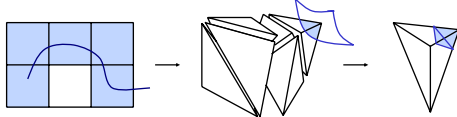


- Interpolation entre coupes** afin de découper la taille des mailles générées de la distance inter-slice (*Shape-based interpolation*)

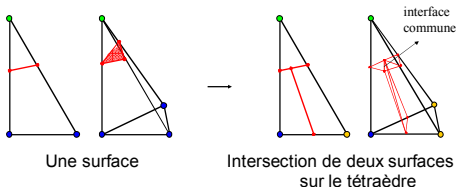


Génération du maillage surfacique

- Méthode basée sur l'algorithme du Marching Tetrahedra**



- Généralisation de la méthode** pour permettre la génération de maillages multi-domaines compatibles



Amélioration de la qualité du maillage

- Modifications topologiques** dans le but d'obtenir un nombre idéal de 6 triangles par noeud

- Suppression d'un noeud entouré de trois éléments
- Suppression d'un noeud entouré de quatre éléments
- Basculement d'arêtes

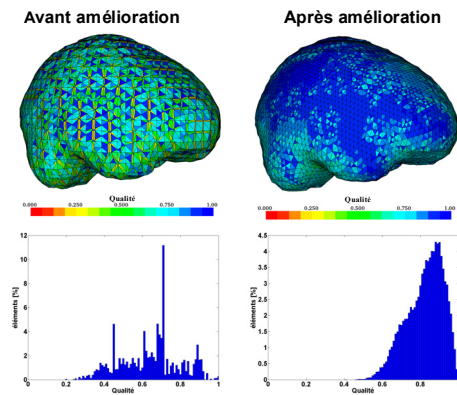
- Optimisation des positions nodales**

- Lissage laplacien
- Projection des noeuds sur la surface

$$\mathbf{x}_i = \text{Proj}_{S_i} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \mathbf{x}_j \right\}$$

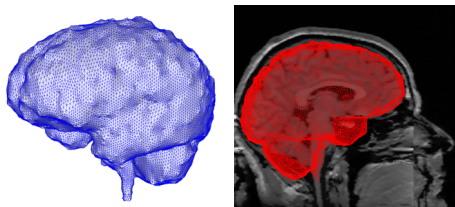
- Mesure de la qualité du maillage surfacique**

$$q = \alpha \frac{\rho}{h_{\max}} \in [0, 1] \text{ avec } \alpha = \frac{6}{\sqrt{3}}$$



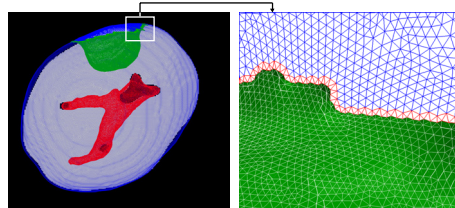
Résultats

- Maillage de l'encéphale**



Maillage surfacique, 20 888 noeuds, 47 777 triangles
Maillage superposé à l'image IRM

- Maillage du cerveau avec tumeur et ventricules**

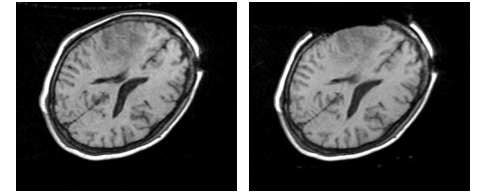


Maillage surfacique, 101 871 noeuds, 204 332 triangles
Maillage compatible à l'interface tumeur - cerveau

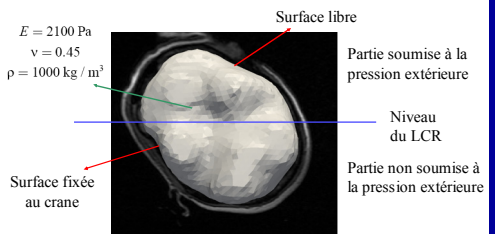
Application

- Simulation du brain shift**

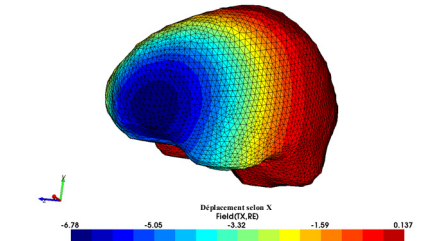
- Brain Shift:** Affaissement du cerveau sous l'effet de la gravité dû à la perte de liquide céphalo-rachidien (LCR).



- Conditions aux limites:**



- Simulation éléments finis**, réalisée dans Metafor [1], maillage volumique obtenu par TetGen [2]



On observe un brain shift de 7 mm, ce qui correspond au déplacement mesuré dans les images

Conclusions et perspectives

- Nous avons développé un mailleur surfacique permettant de générer des maillages éléments finis de bonne qualité, au départ d'images médicales. Dans le cas où l'image segmentée fournie comporte plusieurs domaines, notre mailleur génère des maillages compatibles aux interfaces. Un calcul éléments finis multi-matériaux peut ensuite être réalisé.
- Dans le futur nous améliorerons notre mailleur pour pouvoir adapter la finesse du maillage en fonction de la géométrie locale. Une étude sera également réalisée afin de déterminer les lois matérielles et l'élément fini tétraédrique à utiliser dans notre modèle.

Références

- [1] METAFOR, logiciel éléments finis pour la simulation des problèmes thermomécaniques en grandes déformations. <http://metafor.ltas.ulg.ac.be>.
- [2] H. Si. TetGen: A Quality Tetrahedral Mesh Generator and Three-Dimensional Delaunay Triangulator. Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, Technical Report, 2004.

Contact

Vinciane d'Otreppe – Aspirante du F.R.S-F.N.R.S.
Université de Liège. Département Aérospatiale et Mécanique
Email: vdotrepp@ulg.ac.be